

27 JUL 2004

**PRIORITY
DOCUMENT**SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

EP 04 / 7098

BREVET D'INVENTION**CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION**

REC'D 05 AUG 2004

WIPO

PCT

COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le 19 JUL 2004

Pour le Directeur général de l'Institut
national de la propriété industrielle
Le Chef du Département des brevets

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'M. Planche', enclosed within a large, loopy oval stroke.

Martine PLANCHE



BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITE

26bis, rue de Saint-Petersbourg
75800 Paris Cédex 08
Téléphone: 01 53.04.53.04 Télécopie: 01.42.94.86.54

Code de la propriété intellectuelle-livre VI

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE

DATE DE REMISE DES PIÈCES: 1.07.2003 N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL: 0350273 DÉPARTEMENT DE DÉPÔT: 75 DATE DE DÉPÔT: 1.07.2003	Alain MICHELET CABINET HARLE ET PHELIP 7 rue de Madrid 75008 PARIS France
Vos références pour ce dossier: Q080FR	

1 NATURE DE LA DEMANDE			
Demande de brevet			
2 TITRE DE L'INVENTION			
		PROCÉDE DE RECALAGE AUTOMATIQUE D'UN MODELE GEOMETRIQUE D'UNE SCENE SUR UNE IMAGE DE LA SCENE, DISPOSITIF DE MISE EN OEUVRE ET SUPPORT DE PROGRAMMATION.	
3 DECLARATION DE PRIORITE OU REQUETE DU BENEFICE DE LA DATE DE DEPOT D'UNE DEMANDE ANTERIEURE FRANCAISE		Pays ou organisation	Date N°
4-1 DEMANDEUR			
Nom		THOMSON LICENSING SA	
Rue		46, Quai Alphonse Le Gallo	
Code postal et ville		92100 BOULOGNE BILLANCOURT	
Pays		France	
Nationalité		France	
Forme juridique		Société anonyme	
5A MANDATAIRE			
Nom		MICHELET	
Prénom		Alain	
Qualité		CPI: bm [92-1176, Pas de pouvoir	
Cabinet ou Société		CABINET HARLE ET PHELIP	
Rue		7 rue de Madrid	
Code postal et ville		75008 PARIS	
N° de téléphone		33 1 53 04 64 64	
N° de télécopie		33 1 53 04 64 00	
Courrier électronique		cabinet@harle.fr	
6 DOCUMENTS ET FICHIERS JOINTS			
Fichier électronique		Pages	Détails
Texte du brevet		34	D 27, R 6, AB 1,
Dessins		1	page 1, figures 2
Désignation d'inventeurs			

7 MODE DE PAIEMENT				
Mode de paiement		Prélèvement du compte courant		
Numéro du compte client		607		
8 RAPPORT DE RECHERCHE				
Etablissement immédiat				
9 REDEVANCES JOINTES	Devise	Taux	Quantité	Montant à payer
062 Dépôt	EURO	0.00	1.00	0.00
063 Rapport de recherche (R.R.)	EURO	320.00	1.00	320.00
068 Revendication à partir de la 11ème	EURO	15.00	4.00	60.00
Total à acquitter	EURO			380.00

La loi n°78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique aux fichiers et aux libertés s'applique aux réponses faites à ce formulaire. Elle garantit un droit d'accès et de rectification pour les données vous concernant auprès de l'INPI.

Signé par

Signataire: FR, Cabinet Harle et Phelip, A. Michelet

Emetteur du certificat: DE, D-Trust GmbH, D-Trust for EPO 2.0

Fonction

Mandataire agréé (Mandataire 1)

La présente invention concerne un procédé de recalage automatique, notamment par des moyens électroniques, d'un modèle géométrique d'une scène sur une image de la scène, un dispositif de mise en œuvre ainsi qu'un support de programmation.

5 Elle a des applications dans les activités mettant en œuvre le traitement des images et dans lesquelles on cherche à superposer un modèle visuel représentant une scène selon un point de vue et un angle de vision particulier sur une image réelle de la scène prise selon un autre point de vue et/ou un autre angle.

10 L'invention est plus particulièrement destinée à des scènes qui présentent des repères sous forme de lignes contrastées par rapport au reste de la scène et, notamment, des terrains de sport avec des lignes repères de marquage et de délimitation. Le recalage entre le modèle et l'image permet de pouvoir placer une
15 action se déroulant sur la scène dans un contexte significatif apporté par le modèle et lié à sa structuration (lieu sur la scène, connaissance des actions habituelles du lieu...). L'invention permet donc une structuration de l'image. Les images sont notamment des images vidéo.

20 On connaît déjà des méthodes d'analyse d'images numérisées, vidéo ou autres, permettant d'extraire de façon automatique les caractéristiques de structure de l'image. Ces méthodes mettent en œuvre deux approches. La première, qui est une approche générale, est opérationnelle quel que soit le type de
25 d'image traitée. La seconde, qui est une approche spécialisée, est adaptée au type de l'image qui doit être traitée. Avec la première, les résultats obtenus sont d'assez bas niveau.

Il est donc souhaitable de spécialiser les méthodes d'analyse en fonction du type de l'image. Un type particulier d'image possède
30 des éléments de structuration particulièrement intéressants pour cet objectif, ce sont les images de retransmissions sportives se déroulant sur des terrains particuliers possédant des lignes repères de marquage et de délimitation. En effet, outre le fait que les règles de jeu sont généralement très simples, ce qui permet

une structuration du match et une reconnaissance des actions caractéristiques aisées, le lieu sur lequel se déroule l'action est fixe et sa structure spatiale est connue à priori en fonction de repères relativement simples à détecter qui sont des lignes ou des courbes. A titre d'exemple, on peut citer les circuits de course (athlétisme ou courses motorisées), les terrains de football européen ou américain, de basket, les terrains de tennis. Pour les derniers, il est généralement possible de connaître à l'avance le mode de déroulement d'une rencontre, à savoir, l'enchaînement potentiel des phases de jeu (structuration temporelle d'action), le modèle universel du terrain avec les dimensions précises des différentes lignes (structuration spatiale), le nombre de joueurs, etc.

Plusieurs solutions ont déjà été proposées au problème de recalage de modèle de terrain de sports sur des images. On peut citer trois exemples concernant trois types de sport différents, à savoir, le tennis, le football, le football américain.

Pour le tennis, dans l'article de G. Sudhir, J. Lee and A. Jain. intitulé « Automatic classification of tennis video for high level content-based retrieval » Technical Report, August 1997, The Hong-Kong University of science and technology, on tente de retrouver trois lignes perpendiculaires dans l'image (un carré de service par exemple) afin de calculer la position des autres lignes connaissant la forme théorique d'un terrain de tennis. La première étape concernant la reconnaissance de trois lignes, est effectuée par un algorithme de suivi de droites contraint par la connaissance a priori de la direction de recherche (horizontale vers la droite, puis verticale vers le haut, et enfin horizontale vers la gauche). Cet algorithme est initialisé par un point sélectionné de façon heuristique au centre de l'image. Les défauts majeurs de cette approche sont qu'il n'y a pas de robustesse au positionnement du point initial, ni à l'absence d'une des trois lignes de base (bruit dans l'image, lignes partiellement effacée) et qu'il n'y a pas de vérification de l'adéquation entre l'ensemble des lignes recalées et

les lignes dans l'image (seule les trois lignes de base sont testées). Enfin, la méthode proposée aboutit à un algorithme assez lent peu favorable au traitement en temps réel.

Pour le football, dans l'article de Y. Gong T.S. Lim, and H.C. Chua, intitulé « Automatic Parsing of TV Soccer Programs » IEEE International Conference on Multimedia Computing and Systems, May, 1995, pp. 167-174, les étapes suivantes sont mises en œuvre. Une détection de contours par un filtre gaussien-laplacien. Un filtrage de l'information de contours par utilisation de la couleur blanche des lignes. Une reconnaissance de formes (ellipse, triangle, rectangle...) donnant un certain nombre de primitives. Une analyse des relations spatiales entre primitives permettant d'identifier l'endroit du terrain où se situe l'action de jeu. Cette méthode est particulièrement adaptée au terrain de football en raison de l'hétérogénéité des primitives recherchées (rond central, surface de réparation, but...). Elle apparaît plus difficilement applicable à un modèle de terrain qui présente une symétrie très importante comme un terrain de tennis. De plus, elle n'offre pas à proprement parler de recalage du terrain mais plus une reconnaissance de la position sur le terrain (près de buts, au centre...).

Enfin, pour le football américain, dans la thèse de S. Intille, intitulée « Visual Recognition of Multi-Agent Action ». Phd Thesis, MIT, September 1999, on utilise les caractéristiques du terrain de football américain afin de reconnaître l'endroit où se situe la phase de jeu. Pour ce faire, on utilise les annotations au sol. Celles-ci sont constituées de chiffres et de lignes répartis de « 10 yards » en « 10 yards ». Ces informations sont rassemblées au sein d'un modèle théorique de terrain. La méthode proposée consiste alors à mettre en correspondance n ($n \geq 4$) points de l'image avec n points du terrain théorique. Pour ce faire, un algorithme de détection de lignes basé sur un filtrage de Canny-Deriche est utilisé. Les intersections des différentes droites trouvées forment un ensemble de points particuliers servant au recalage par rapport

au modèle théorique. Le recalage initial est réalisé manuellement sur la première image en associant 4 points identifiés dans l'image avec leur correspondant dans le modèle théorique. Pour les images suivantes, un algorithme de compensation du mouvement dominant permet de suivre les points en correspondance tout au long de la séquence. Les inconvénients de cette méthode sont principalement l'utilisation d'une initialisation manuelle, la sensibilité de l'algorithme de détection de lignes et la difficulté d'adaptation à un modèle de terrain plus complexe qui ne possède pas des annotations au sol équivalentes.

La présente invention propose une méthode alternative ne faisant pas appel à une initialisation manuelle de l'algorithme de recalage pour chaque séquence vidéo traitée. Elle est par ailleurs robuste au problème de détection de contours ce qui n'est pas le cas des méthodes précédemment décrites. Dans le cadre de l'invention les termes terrain et scène sont considérés comme équivalents.

Ainsi, l'invention concerne, un procédé de recalage automatique par des moyens électroniques d'un modèle géométrique d'une scène sur une image de la scène, le modèle et l'image de la scène étant stockés dans une mémoire d'un dispositif électronique sous forme de matrices de pixels, la scène comportant des repères fixes par rapport au reste de la scène, les repères pouvant être spécifiquement détectés au sein des matrices, l'image étant prise par une caméra disposée dans une zone donnée par rapport au terrain en un lieu de la zone et selon un angle de prise de vue déterminés par rapport à la scène, les moyens électroniques comparant l'image au modèle ayant subi un ajustement en perspective par une homographie à la recherche d'une superposition des repères.

Selon l'invention, le dispositif électronique calcule une fonction d'homographie fine H_f pour le recalage en trois phases principales :

- une première phase préalable de détermination d'une homographie de recalage moyen consistant à déterminer une fonction d'homographie moyenne H_m s'appliquant sur le modèle avec ajustement moyen sur un échantillon d'images préalablement réalisées de la scène,
- une deuxième phase de recalage grossier consistant après l'application de la fonction d'homographie moyenne H_m sur le modèle à déterminer une fonction d'homographie grossière H_g ,
- une troisième phase de recalage fin consistant après l'application de la fonction d'homographie grossière H_g sur le modèle à déterminer une fonction d'homographie fine H_f .

Notons dès à présent que, comme on le verra par la suite, le lieu et/ou l'angle de prise de vue peuvent évoluer d'une image à l'autre dans la limite où le modèle reste en partie visible dans l'image (le critère de limite de visibilité sera défini ultérieurement). Dans divers modes de mise en œuvre de l'invention, les moyens suivants pouvant être combinés selon toutes les possibilités techniquement envisageables, sont employés :

- la scène possède des lignes repère de délimitation ou marquage au nombre d'au moins 4 lignes repères non parallèles 3 à 3,
- les lignes repère sont réduites à des points et la scène possède au moins 4 points repères non 3 à 3 alignés,
- dans la phase préalable de détermination d'une homographie de recalage moyen, on sélectionne au moins une image échantillon parmi un ensemble d'images prises du lieu déterminé, on détecte les repères sur l'image/les images échantillons et on calcule une fonction homographique H_m moyenne permettant une superposition entre le modèle soumis à la fonction homographique moyenne et l'image/les images échantillons, la superposition étant atteinte pour une minimisation aux moindres carrés de la distance entre des points repères de/des images échantillons et le modèle soumis à la fonction homographique moyenne,
- dans la deuxième phase de recalage grossier :

- dans une première étape on applique un traitement d'extraction à l'image permettant, selon des critères de détection, de détecter dans la matrice de l'image des pixels pouvant représenter des repères de la scène (mais donc vus selon le lieu et l'angle de prise de vue) et de former une première matrice binaire M_{rh} de repère d'image comportant des points de contours horizontaux (encore dits points de gradient vertical) et une seconde matrice binaire M_{rv} de repère d'image comportant des points de contours verticaux (encore dits points de gradient horizontal),
- dans une deuxième étape on calcule pour chaque matrice binaire repère horizontale M_{rh} , respectivement verticale M_{rv} , une matrice de distance repère horizontale M_{dh} , respectivement verticale M_{dv} , comportant pour chaque élément de la matrice la valeur de distance par rapport au repère le plus proche selon la verticale, respectivement l'horizontale,
- pour la matrice de distance repère horizontale M_{dh} chaque élément de ladite matrice indiquant la distance en nombre de pixels par rapport à la ligne repère le long d'un axe vertical, les valeurs distance sur la ligne repère et ceux d'une colonne sans pixel de ligne repère étant nuls, les valeurs distance le long de la verticale augmentant en valeur absolue au fur et à mesure de l'éloignement de l'élément par rapport à la ligne repère, les valeurs distance des éléments étant de signes opposés de part et d'autre de la ligne repère,
- pour la matrice de distance repère verticale M_{dv} chaque élément de ladite matrice indiquant la distance en nombre de pixels par rapport à la ligne repère le long d'un axe horizontal, les valeurs distance sur la ligne repère et ceux d'une ligne sans pixel de ligne repère étant nuls, les valeurs distance le long de l'horizontale augmentant en valeur absolue au fur et à mesure de l'éloignement de l'élément par

rapport à la ligne repère, des éléments étant de signes opposés de part et d'autre de la ligne repère,

- dans une troisième étape on applique sur l'ensemble des lignes repères du modèle la fonction homographique H_m moyenne afin de produire une matrice ajustée moyenne binaire M_{am} qui est comparée aux matrices de distance repère verticale M_{dv} , respectivement horizontale M_{dh} , afin de créer des appariements de pixels,

avec pour chaque pixel $p(i,j)$ de la matrice ajustée moyenne provenant du recalage d'un pixel du modèle appartenant à une ligne repère verticale et positionné à la ligne i et à la colonne j de la matrice ajustée moyenne M_{am} , l'affectation d'un pixel correspondant obtenu en additionnant la valeur v en i et j de la matrice repère verticale M_{rv} à la valeur j , et créant l'appariement de pixels $((i,j), (i,j+v))$,

avec pour chaque pixel $p(i,j)$ de la matrice ajustée moyenne provenant du recalage d'un pixel du modèle appartenant à une ligne repère horizontale et positionné à la ligne i et à la colonne j de la matrice ajustée moyenne M_{am} , l'affectation d'un pixel correspondant obtenu en additionnant la valeur v en i et j de la matrice repère horizontale M_{rh} à la valeur i , et créant l'appariement de pixels $((i,j), (i+v,j))$,

une fonction d'homographie H_{opt} est alors calculée par régression avec minimisation de la médiane du carré de la distance entre paires de pixels appariés, le calcul étant effectué sur n ensembles de quatre paires de pixels appariés,

- dans une quatrième étape on identifie les paires de pixels correspondant à des appariements non aberrants, - dans une cinquième étape on ajuste H_{opt} par un calcul de régression aux moindres carrés sur l'ensemble des paires de pixels non aberrantes afin de produire l'homographie grossière H_g ,
- dans la matrice ajustée moyenne binaire M_{am} , les pixels prennent la valeur 1 s'ils correspondent à un pixel repère du modèle recalé et 0 sinon,

- dans la quatrième étape de la deuxième phase de recalage grossier, une paire de pixels correspond à un appariement non aberrant, si, pour le pixel de la matrice ajustée moyenne M_{am} de l'appariement considéré, la distance entre le pixel apparié par utilisation des matrices repères M_{rh} , M_{rv} , et celui obtenu par l'homographie H_{opt} est inférieur ou égal à un seuil prédéterminé,
- les critères de détection de repères sont choisis isolément ou en combinaison parmi :
 - une couleur spécifique du repère par rapport au reste de la scène,
 - une teinte spécifique du repère par rapport au reste de la scène,
 - un niveau de gris spécifique du repère par rapport au reste de la scène,
 - une forme spécifique du repère, notamment une ligne, un angle entre deux lignes se croisant, un parallélisme entre deux lignes,
 - une orientation spécifique du repère,
 - une ligne la plus proche et parallèle d'un bord de la matrice de l'image,
- le traitement d'extraction comporte une étape préalable de filtrage de Canny-Deriche de l'image afin d'obtenir une image de gradients et le traitement se poursuit avec l'image de gradients,
- dans la troisième phase de recalage fin on applique l'homographie grossière H_g sur le modèle et on compare le résultat aux deux matrices de distance horizontale et verticale avec ajustement de l'homographie par une méthode de minimisation itérative mono dimensionnelle alternée dite de Powell,
- la matrice du modèle est une matrice binaire dont tous les pixels concernant les repères ont une première valeur et les autres pixels une seconde valeur afin d'éviter d'avoir à détecter les repères dans ladite matrice du modèle lors de la mise en œuvre des phases et étapes du procédé,

- les images évoluent au cours du temps selon des séquences correspondant à des lieux et/ou angles de prise de vue différents et le dispositif électronique comporte de moyens permettant en outre de déterminer au cours de la première phase préalable de recalage moyen autant de fonctions d'homographie moyennes H_m qu'il y a de lieux et angles de prise de vue différents,
- on met en œuvre les phases et étapes dans les moyens électroniques qui sont en logique programmable avec un programme et la logique programmable comporte un microprocesseur ou processeur de signaux numériques (DSP) et, de préférence, du type micro-ordinateur généraliste ou dédié,
- la scène est un terrain de sport comportant des repères sous forme de lignes de délimitation, notamment un terrain « football » européen ou américain ou de tennis,
- on met en œuvre des moyens électroniques qui sont en logique câblée,
- la logique câblée comporte au moins un circuit intégré,
- on met en œuvre des moyens électroniques qui sont en logique programmable avec un programme,
- la logique programmable comporte un microprocesseur ou processeur de signaux numériques (DSP) et sont, de préférence, du type micro-ordinateur généraliste ou dédié.

L'invention concerne également un dispositif de recalage automatique par des moyens électroniques d'un modèle géométrique d'une scène sur une image de la scène, le modèle et l'image de la scène étant stockés dans une mémoire d'un dispositif électronique sous forme de matrices de pixels, la scène comportant des repères fixes par rapport au reste de la scène, les repères pouvant être spécifiquement détectés au sein des matrices, l'image étant prise par une caméra disposée dans une zone donnée par rapport au terrain en un lieu de la zone et selon un angle de prise de vue déterminés par rapport à la scène, les moyens électroniques comparant l'image au modèle ayant subi un

ajustement en perspective par une homographie à la recherche d'une superposition des repères.

Selon cette invention, le dispositif comporte des moyens permettant de calculer une fonction d'homographie fine H_f pour le

5 recalage en trois phases principales :

- une première phase préalable de détermination d'une homographie de recalage moyen consistant à déterminer une fonction d'homographie moyenne H_m s'appliquant sur le modèle avec ajustement moyen sur un échantillon d'images préalablement
- 10 réalisées de la scène,
- une deuxième phase de recalage grossier consistant après l'application de la fonction d'homographie moyenne H_m sur le modèle à déterminer une fonction d'homographie grossière H_g ,
- une troisième phase de recalage fin consistant après
- 15 l'application de la fonction d'homographie grossière H_g sur le modèle à déterminer une fonction d'homographie fine H_f .

L'invention de dispositif comporte encore des moyens permettant l'exécution du procédé précédemment listé et de toutes ses variantes isolément ou selon toutes leurs combinaisons.

20 Dans une variante du dispositif, les moyens électroniques sont du type micro-ordinateur généraliste ou dédié.

L'invention concerne également un support informatique comportant un programme destiné au fonctionnement du dispositif précédent.

25 L'invention concerne enfin un support informatique comportant un programme destiné au fonctionnement du dispositif précédent et au moins selon une des modalités méthodologiques parmi l'ensemble des modalités, y compris résultant de combinaisons éventuelles, qui ont précédemment été listées.

30 La présente invention va maintenant être exemplifiée par la description qui suit, sans en être pour autant limitée, et en relation avec :

la Figure 1 qui représente un exemple de dispositif pour mise en œuvre de l'invention et,

la Figure 2 qui représente des données produites pour une étape de recalage grossier avec des cartes de gradients et de distances algébriques aux contours.

L'invention est maintenant explicitée en prenant l'exemple du
5 recalage d'un modèle de terrain de tennis sur une image provenant d'une séquence vidéo de jeu sur un tel terrain mais qui est généralement prise selon un autre point de vue que celui du modèle. Le terrain de tennis présente l'avantage d'avoir des dimensions parfaitement connues et des lignes repères
10 parfaitement définies. L'objectif est de recalcr l'ensemble des informations spatiales extraites des images vidéo, par exemple position et trajectoire des joueurs ou de la balle, par rapport à un même référentiel qui est le modèle. Le recalage permet de définir une transformation qui peut être ensuite utilisée pour l'ensemble
15 des éléments de l'image. Notons que suivant ce que l'on veut transformer, le modèle ou une image, on utilisera la transformation directe ou son inverse. Ceci permet, dans des phases ultérieures non abordées dans la présente demande, d'identifier les phases de jeu (service, volée ...).

20 Dans cet exemple on utilise un certain nombre d'hypothèses qui sont que les prises de vue des images vidéo sont faites à partir d'un point haut en arrière du petit côté du terrain et que la majeure partie du terrain est visible sur les images. Toutefois, l'invention est applicable à des images prises d'un autre point, notamment sur
25 les grands côtés. De plus, on suppose que les lignes de terrain sont blanches (l'invention est toutefois adaptable à toute couleur de ligne pouvant être extraite d'une image du terrain). Enfin, on suppose que la surface de jeu et donc la couleur du terrain n'est pas connue à priori afin de pouvoir analyser les images de
30 rencontres sur terre battue ou herbe et, aussi, que le positionnement des joueurs est quelconque.

A partir de ces hypothèses, on a déterminé une méthode qui peut être transposée sous forme algorithmique afin qu'elle puisse être mise en œuvre automatiquement dans des moyens

électroniques, notamment un système informatique à microprocesseur ou processeur de signaux numériques. La méthode utilise les lignes du terrain et plus particulièrement les lignes de contour afin de réduire la quantité de calculs nécessaires. Toutefois, l'invention peut être appliquée à toutes
5 lignes repère de délimitation ou marquage du terrain sous la condition de posséder au moins 4 lignes repères non parallèles 3 à 3 ou 4 points repères non 3 à 3 alignés.

Avec la méthode proposée, un équipement électronique
10 permet de déformer automatiquement le modèle de terrain théorique représenté par des lignes de délimitation de manière à faire correspondre le mieux possible les lignes recalées avec les lignes réelles du cours qui apparaissent sur les images vidéo. Dans l'équipement informatique, les images aussi bien du modèle
15 que celles réelles de la vidéo, sont sous forme numérique et sont stockées dans des matrices lignes x colonnes pour les calculs. De préférence le modèle correspond à une image binaire de la scène (cours) dans laquelle les lignes repères ont une valeur différente du reste de la scène. De préférence, les matrices d'images, du
20 modèle et celles calculées sont de même taille afin de simplifier les calculs et d'éviter à avoir tenir compte d'un facteur de réduction ou agrandissement. Toutefois, l'invention peut être appliquée dans son principe à des matrices de modèle et d'image(s) de tailles différentes.

25 Un exemple de dispositif pour mise en œuvre de l'invention est représenté Figure 1 et, de préférence, l'invention est mise en œuvre avec des circuits électroniques programmables, notamment micro-ordinateur ou équipement informatique dédié et on a représenté sur cette figure des moyens informatiques. Une caméra
30 vidéo 3 effectue une prise de vue d'une scène 2 qui est ici un terrain de tennis. La prise de vue comportant une suite d'images est transmise sous forme de données vidéo 1 vers un micro-ordinateur 4 permettant d'effectuer les opérations en relation avec l'invention et de stocker au moins l'image en cours de traitement.

Dans un cartouche circulaire à droite de la Figure 1 et en relation par une flèche avec le micro-ordinateur 4 on a également représenté un modèle 7 de terrain de tennis pour indiquer que le micro-ordinateur stocke également une représentation du modèle de la scène. La liaison directe entre la caméra 3 et le micro-ordinateur permet un traitement en direct du flux vidéo 1 qui peut y être stocké. On a toutefois représenté en pointillés une liaison vidéo 1' entre la caméra 3 et un moyen de stockage 6 du flux vidéo pour sa première partie et entre le moyen de stockage 6 et le micro-ordinateur 4 pour sa deuxième partie, afin de montrer que l'invention peut également s'appliquer à de la vidéo pré-enregistrée. Le moyen de stockage 6 est représenté sous forme d'un serveur mais il est également possible d'utiliser des moyens de stockage analogiques. Toutefois, on comprend bien que le traitement automatisé est effectué dans un équipement mettant en œuvre des calculs logiques/numériques, micro-processeur ou processeur de signaux numériques (DSP), et que si un signal vidéo analogique est transmis, une conversion analogique numérique est effectuée avant le traitement automatisé. De préférence, le flux vidéo est un flux de données numériques.

On comprend également que le terme micro-ordinateur peut couvrir tout équipement électronique informatique compatible et éventuellement dédié de type station de travail graphique. En alternative, le micro-ordinateur peut être remplacé par un circuit câblé spécialement réalisé pour effectuer les opérations en relation avec l'invention. Le circuit câblé (un ou plusieurs circuits intégrés) peut éventuellement être disposé sur une carte électronique au sein d'un micro-ordinateur. Enfin, les données vidéo brutes conduisant à un flux de données particulièrement important, l'invention peut également fonctionner sur des données vidéo compressées, soit que les images soient décompressées lors du traitement, soit que le traitement soit adapté au type de compression utilisé. En particulier certains systèmes de compression permettent de supprimer les données redondantes

dans une image et une faible quantité de données apporte une information sur l'homogénéité ou la complexité de ladite image, ce qui peut également permettre la sélection des plans.

Le recalage est effectué de manière globale avec un seul
5 modèle de déformation pour l'ensemble du terrain selon un point de prise de vue de l'image particulier et dans la mesure ou au moins 4 des repères associés au modèle sont visibles. Au cas où le point de prise de vue est modifié, un nouveau modèle de déformation doit être mis en œuvre (le modèle de déformation
10 initial moyen doit être changé ce qui implique une modification des résultats des étapes ultérieures). Dans le cas de séquences alternant des prises de vues en des points différents, soit, on fournit à l'équipement une information à priori du point de prise de vue et on utilise la fonction de recalage moyen correspondante (la
15 méthode met en œuvre une étape préalable de détermination d'une fonction de recalage moyen déterminée à partir d'un échantillon d'images prise en un point particulier), soit, on effectue des tests itératifs avec plusieurs fonctions de recalage moyen (chacune correspondant à un point particulier) à la recherche du recalage
20 qui est le plus proche selon un critère de distance entre modèle recalé et image et on utilise la fonction de recalage moyen en question pour la suite. Notons encore une fois, qu'ultérieurement, et en dehors du cadre de la présente invention qui concerne plus particulièrement le recalage entre un modèle et une image, une
25 fois les différentes positions des joueurs ou de la balle calculées sur l'image réelle, elles pourront également être compensées via l'exploitation de la fonction de recalage ou de son inverse.

On va maintenant expliciter les principes à la base de l'invention et on prend un modèle de terrain qui correspond à un
30 terrain vu de dessus, sensiblement en son centre et symétriquement. L'invention peut toutefois être mise en œuvre avec un modèle de terrain qui correspond à une vue différente. Néanmoins, on choisit de préférence une vue du modèle qui

simplifie les calculs et, surtout, les étapes ultérieures de positionnement des éléments de l'image.

Une fonction permettant de déformer ce terrain théorique ou modèle comportant des repères se croisant à angle droit, c'est à dire que le modèle est considéré comme vu de dessus sensiblement en son centre, est donc recherchée. On sait que le même terrain vu au travers d'une caméra positionnée latéralement présentera sur l'image des lignes repères en perspective, les lignes fuyantes n'étant pas parallèles contrairement aux mêmes lignes du modèle. Le type de projection à utiliser pour déformer le modèle et le superposer à l'image est connu et il correspond à une fonction de projection perspective (les déformations non linéaires liées aux imperfections optiques de la caméra sont négligées). Sous cette hypothèse de projection perspective pure, on sait qu'il existe une relation exacte permettant de transformer un plan, celui du modèle, en sa projection. Cette fonction est la fonction homographique à huit paramètres. Bien que non linéaire en coordonnées cartésiennes, le passage en coordonnées homogènes permet de retrouver une linéarité entre un point du modèle et son projeté dans l'image.

On rappelle maintenant le principe de cette transformation. Soit $\tilde{p}(x,y,t)$ un point 2D exprimé en coordonnées homogènes (le cas où t est nul correspond à un point à l'infini dans la direction (x,y)). Ce même point exprimé dans l'espace cartésien aura pour coordonnées $p(\frac{x}{t}, \frac{y}{t})$ (un point à l'infini ne pouvant s'exprimer en coordonnées cartésiennes). En coordonnées homogènes, la transformation homographique s'exprime sous forme matricielle via la matrice $H(3 \times 3)$ définie à un coefficient multiplicatif près (elle possède 8 coefficients indépendants). Quel que soit le point homogène \tilde{p}_h^i exprimé dans le repère attaché au terrain théorique et \tilde{p}^i son correspondant dans l'image, on a $\tilde{p}^i = \lambda \cdot H \cdot \tilde{p}_h^i$ avec λ scalaire non nul.

Le recalage consiste donc à identifier l'homographie permettant de recaler le terrain théorique, le modèle, sur l'image réelle. Ce type d'identification est basé sur un calcul itératif d'ajustement qui comporte une condition d'arrêt basée sur un

5 critère de qualité. Normalement, ce critère de qualité devrait être basé sur la distance moyenne entre lignes repères recalées et lignes repères réelles. Toutefois, le positionnement des lignes réelles n'est pas connu à priori. En conséquence, le critère de qualité qui est utilisé est un critère de distance à minimiser. Ce

10 critère $D(I,H)$, dépendant de l'image I et de l'homographie H , est défini comme l'intégrale le long des lignes repères recalées, de la distance entre un point d'une ligne repère recalée et le point de contour le plus proche. Son expression symbolique est la suivante :

15 $D(I,H) = \int_T d_c(I,H,s).ds$ où d_c est la distance euclidienne du point s recalé par l'homographie H au point contour le plus proche dans l'image I .

Cependant, la déformation à appliquer au modèle théorique est très importante et de par sa nature fortement non linéaire en

20 coordonnées cartésiennes, la transformation homographique est relativement instable, des petites variations sur les paramètres de la troisième ligne de la matrice homographique entraînent de très fortes variations de la position des points recalés, ce qui n'est pas favorable à un calcul automatisé efficace.

25 En conséquence, le procédé de recalage selon l'invention va être effectué en trois phases permettant de passer d'un recalage initial approximatif à un recalage final fin. Les trois phases à exécuter sont, premièrement, un recalage moyen suivi, deuxièmement, d'un recalage grossier puis, troisièmement, d'un

30 recalage fin. Le but de l'invention est, par utilisation de trois étapes de recalage, de garantir l'obtention d'une solution satisfaisante avec un coût (importance des calculs) réduit par rapport à la technique basée sur la transformation mathématique en projection présentée précédemment à titre de rappel. La phase

de recalage moyen utilise le fait que les images présentent des caractéristiques spatiales proches. L'étape de recalage grossier exploite un découpage en lignes verticales et horizontales de la scène (terrain). La phase de recalage fin est basée sur un schéma de minimisation dont la convergence rapide vers un minimum satisfaisant est garanti par les étapes de recalage précédentes.

Le procédé de recalage de l'invention peut être explicité sous forme d'un algorithme :

1. Calculer sur un ensemble représentatif d'images (échantillon), l'homographie de recalage moyenne H_m
2. Effectuer le recalage grossier d'image entre les pixels du modèle recalé par H_m et leur correspondants obtenus par les cartes de distances par :
 - a. Calcul des cartes de gradient horizontal et vertical et des cartes de distances horizontales et verticales par rapport aux points contours (un point contour étant un point dont la valeur de gradient est supérieure ou égale à un seuil fixé)
 - b. Estimation de l'ensemble des correspondants (couples) des points recalés par H_m à partir des cartes de distances,
 - c. Calcul robuste de l'homographie grossière H_g à partir de l'ensemble des couples trouvés, (le calcul robuste consiste à ne prendre en compte qu'une partie des couples, ceux qui satisfont à un critère de qualité d'appariement : les couples correspondants à des appariements non aberrants)
3. Effectuer le recalage fin en utilisant H_g par : Affinement des paramètres de H_g pour minimiser la distance contours réels sur l'image à ceux du terrain théorique (le modèle) recalé par H_g .

Ces trois phases vont maintenant être décrites dans le détail :

a) Le recalage moyen :

Cette première phase est effectuée préalablement et, dans le cas où les points de prises de vues peuvent être différents, une fois au moins pour tout point de prise de vue. Notons que dans le cas où l'angle de prise de vue peut également évoluer de manière importante, par exemple suite à un « travelling » ou une rotation de la caméra, cette étape peut être effectuée sur les angles extrêmes et/ou sur des directions de prise de vue intermédiaires (secteurs angulaires)

Un échantillon représentatif d'images des séquences de tennis disponibles pour un point de prise de vue donné (et, éventuellement un angle de prise de vue donné) est déterminé et une fonction homographique moyenne H_m , via une minimisation aux moindres carrés de la distance entre points projetés et points réels de repères, est calculée. De préférence, cette étape est effectuée manuellement, un opérateur mettant en correspondance manuelle les angles visibles des repères dans les images et les angles des repères du modèle (le calcul au moindres carrés de l'homographie moyenne étant effectué sur l'ensemble des appariements ainsi obtenus). Toutefois cette opération peut également se faire de manière semi automatique, un automate ajustant grossièrement les lignes et un opérateur humain peaufinant l'ajustement pour produire finalement la fonction homographique moyenne H_m . Inversement, ce peut être l'opérateur humain qui ajuste grossièrement et l'automate qui peaufine l'ajustement pour produire finalement la fonction homographique moyenne H_m .

b) Le recalage grossier

Au cours de cette phase deux cartes ou matrices de distances algébriques aux contours sont calculées, une pour ce qui concerne la verticale et une pour ce qui concerne l'horizontale. Le terme contour correspond à des lignes repères du terrain. A cette fin et comme représenté sur la Figure 2, à partir de l'image originale 8 des images de gradients verticaux et horizontaux sont calculées à l'aide d'un filtrage de Canny-Deriche puis seuillage et binarisation en fonction de critères de détection afin de ne

conserver, dans cet exemple, que les points de fort contraste, c'est à dire ceux qui correspondent aux lignes repères, pour produire deux cartes ou matrices de contours verticaux 10 et horizontaux 9 respectivement. Si nécessaire, on peut se référer à l'article
5 Deriche, R., « *Optimal Edge Detection Using Recursive Filtering* », Proc. First Conf. on Computer Vision, London, June, 1987 en ce qui concerne le filtrage. Notons que sur la Figure 2, un filtrage des cartes de contours 9 et 10 a en outre été réalisé afin de n'obtenir au final que les points de fort contraste possédant un niveau de
10 gris supérieur à un seuil étant entendu qu'ici on considère que les points appartenant aux lignes repères sont blanches. Notons que l'on peut également prendre en compte la couleur pour sélectionner des lignes de contour ou tout autre critère de détection spécifique de tels contours dans l'image (alignement de
15 points, contraste, couleur, croisement de lignes...). D'une manière alternative, au cas où les lignes repères seraient détectable simplement, on peut directement utiliser l'image et appliquer des critères de détection de ligne repère sans passer par le calcul d'un gradient. Ces critères peuvent être une couleur spécifique de ligne
20 par exemple. Notons enfin qu'il est possible de mettre en œuvre des étapes complémentaires permettant d'améliorer la qualité des lignes repères détectées, notamment par des opérations de dilatation, érosion... sur les matrices. Ceci permet par exemple de réunir deux portion d'une même ligne qui se trouvait coupée soit
25 par la présence d'un joueur dans l'axe, soit par le revêtement du terrain poussé sur la ligne par une glissade de joueur (terrain en terre battue).

A partir des deux cartes de contours 9 et 10 ainsi calculées, on détermine les cartes de distances algébriques aux contours
30 horizontaux 11 et verticaux 12 les plus proches. A cette fin, deux balayages horizontaux (respectivement verticaux) de la carte de contours verticaux 10 (respectivement horizontaux 11) sont effectués en affectant à chaque pixel la valeur de la distance euclidienne au point contour (appartenant donc à un repère) le

plus proche sur la ligne (respectivement la colonne) balayée. Cette distance est négative avant le point contour sur la ligne (respectivement la colonne) balayée.

- Cette phase du procédé peut être explicitée sous la forme
- 5 d'un algorithme en considérant :
- Gh et Gv les cartes de gradients horizontaux et verticaux correspondant à des matrices ligne x colonne indexées en i,j ou en p (Ex : Gh(i,j) : valeur de Gh au point de coordonnées i,j) (Ex : Gv(p) : valeur de Gv au point p)
 - 10 • Dh et Dv les cartes de distances horizontale et verticale correspondant à des matrices ligne x colonne indexées en i,j ou en p (Ex : Dh(i,j) : valeur de Dh au point de coordonnées i,j) (Ex : Dv(p) : valeur de Dv au point p)
 - I(p) l'intensité de l'image I au point p
- 15 1. Calcul des cartes de gradients horizontaux Gh et verticaux Gv
2. Binarisation des cartes de gradients :
- a. Horizontale, pour tout point p :
 - 20 i. Si (I(p)>seuil1) && (Gh(p)>seuil2) alors Gh(p)=1
 - ii. Sinon Gh(p)=0
 - b. Verticale, pour tout point p :
 - i. Si (I(p)>seuil1) && (Gv(p)>seuil2) alors Gv(p)=1
 - ii. Sinon Gv(p)=0
- 25 3. Calcul des distances Dh et Dv :
- a. Initialiser Dh avec la valeur nombre de lignes +1, soit Dh(p)=NbLignes+1 $\forall p \in Dh$
 - b. Initialiser Dv avec la valeur nombre de colonnes +1, soit Dv(p)=NbColonnes+1 $\forall p \in Dv$
 - 30 c. Calcul de Dh :
 - i. Pour chaque colonne j :
 - d=-1 ;
 - n = nombre de lignes
 - Pour (i=0 à n-1)

- a. si $Gh(i,j)=1$ alors $d=0$
- b. si $d \neq -1$ alors
 - i. $Dh(i,j)=d$
 - ii. $d=d+1$
- 5 ii. Pour chaque colonne j :
 - $d=-1$;
 - n = nombre de lignes
 - Pour ($i=n-1$ à 0)
 - a. si $Gh(i,j)=1$ alors $d=0$
 - 10 b. si $(d \neq -1) \ \&\& \ (Dh(i,j) > d)$ alors
 - i. $Dh(i,j)=-d$
 - ii. $d=d+1$
- d. Calcul de Dv :
 - i. Pour chaque ligne i :
 - 15 • $d=-1$;
 - n = nombre de colonnes
 - Pour ($j=0$ à $n-1$)
 - a. si $Gv(i,j)=1$ alors $d=0$
 - b. si $d \neq -1$ alors
 - 20 i. $Dv(i,j)=d$
 - ii. $d=d+1$
 - ii. Pour chaque ligne i :
 - $d=-1$;
 - n = nombre de colonnes
 - 25 • Pour ($j=n$ à 0)
 - a. si $Gv(i,j)=1$ alors $d=0$
 - b. si $(d \neq -1) \ \&\& \ (Dv(i,j) > d)$ alors
 - i. $Dv(i,j)=-d$
 - 30 ii. $d=d+1$

Grâce aux cartes de distances 11 et 12 ainsi calculées, on va déterminer une homographie grossière H_g par recherche avec minimisation du critère $D(l,H)$. A cette fin, on applique la fonction homographique moyenne H_m au modèle pour former un modèle ajusté moyen sous forme d'une matrice du modèle ajusté moyen.

La matrice du modèle ajusté moyen et la carte de distances verticales, respectivement horizontales, sont parcourus parallèlement, dans un cas horizontalement et dans l'autre verticalement et on met en correspondance les points de contours de l'image à leurs homologues du modèle ajusté moyen. Les points pour l'image sont obtenus à partir de la carte de distances verticales (respectivement horizontales). Deux balayages sont effectués, un balayage horizontal et un balayage vertical. Ainsi, si $p(x,y)$ est un point de ligne horizontale (respectivement verticale) du modèle ajusté et d la valeur en (x,y) de la carte de distances horizontale (respectivement verticale), alors le correspondant de p dans l'image sera le point de coordonnées $(x,y-d)$ (respectivement $(x-d,y)$).

Le parcours de l'ensemble des matrices (cartes des distances et matrice du modèle ajusté moyen) fournit un ensemble à grand nombre d'éléments de paires de points en correspondance qui peut contenir cependant des paires de points appariés erronées (par exemple des pixels du modèle ajusté non visibles dans l'image seront appariés avec les points de plus fort gradient les plus proches (ou en dehors de l'image s'il n'y a pas de points de gradient sur la ligne ou la colonne considérée. Dans tous les cas, on effectue un appariement avec le point le plus proche.

L'ensemble de ces correspondances ou paires va maintenant servir à calculer la nouvelle matrice d'homographie grossière H_g transformant les points du terrain théorique en points appartenant aux cartes de contour. La technique utilisée à cette fin n'est pas basée sur les moindres carrés. En effet, la carte des points de contour, qu'elle soit horizontale ou verticale, est souvent fortement bruitée. Des correspondances peuvent donc être fortement erronées et une estimation directe par moindres carrés accorderait beaucoup d'importance aux paires aberrantes ce qui pourrait, du fait de l'instabilité du modèle homographique, entraîner une divergence du modèle recalé par rapport au positionnement réel du terrain dans l'image.

On préfère donc utiliser une méthode d'estimation robuste des paramètres de la fonction d'homographie grossière H_g . L'objectif est de séparer les paires en correspondance qui sont bien appariées des correspondances aberrantes. Il existe plusieurs
 5 familles de techniques d'estimation robuste. Selon un mode préférentiel de réalisation de l'invention, les paramètres de l'homographie grossière H_g sont calculés de manière à satisfaire le critère de la moindre médiane des carrés. La méthode de calcul, présentée brièvement ci-après, est décrite de manière complète au
 10 paragraphe 3 de l'article de P. Meer, D. Mintz et A. Rosenfeld « Robust Regression Methods for Computer Vision : A Review », paru dans International Journal of Computer Vision, volume 6 n° 1, 1991, pages 59 à 70, auquel on peut éventuellement se référer.

Selon cette méthode, si l'on considère H l'espace des
 15 paramètres de l'homographie, E l'ensemble des paires en correspondance (appelés échantillons) et $c(p_{th}, p_r)$ une paire point-pixel constituée d'un pixel du modèle ajusté moyen p_{th} et d'un point contour p_r correspondant dans l'image, la méthode de moindre médiane des carrés vise à minimiser, dans l'espace H , la
 20 médiane des résidus calculés sur E . Le résidu dans le cas présent, correspond à la distance dans une paire entre le point de repère résultant de l'application de la fonction d'homographie courante sur le modèle et le point contour (repère) correspondant sur l'image. L'homographie H_{opt} solution du problème est
 25 l'homographie minimisant cette médiane :

$$H_{opt} = \min_{H_i \in H} (\text{med}_{c \in E} d(H_i \cdot p_{th}, p_r)^2)$$

où d est la distance euclidienne entre deux points.

La solution de problème de minimisation non-linéaire nécessite une recherche itérative par régression de l'homographie
 30 H_i qui minimise la médiane des résidus parmi toutes les homographies possibles. De préférence, afin de limiter les calculs, on borne la recherche à un ensemble fini de n homographies, définies par n ensembles de quatre paires (ou couples) de points tirés aléatoirement dans E . Dans des variantes de mise en œuvre

on peut utiliser huit paires, voire seize paires ou plus selon la puissance de calcul disponible et/ou la précision souhaitée. Pour chacune des n homographies, on calcule et on trie les carrés des résidus de façon à identifier le résidu carré médian. L'homographie
 5 résultat est estimée comme celle qui fournit le plus petit résidu carré médian.

Le fait de sélectionner l'homographie sur l'unique résidu carré médian, plutôt que sur l'ensemble des résidus, confère au processus de régression son caractère robuste. En effet, il permet
 10 de ne pas prendre en compte des résidus de valeurs extrêmes, susceptibles de correspondre à des paires de points aberrants et donc de fausser la régression.

On peut le démontrer statistiquement. A titre d'exemple dans le cas où l'on utilise huit paires, si l'on pose $P=0.999$ la probabilité
 15 qu'au moins un des n ensemble de huit paires ne contienne pas de couples aberrants et que l'on suppose que 50% des données peuvent être fausses. Le nombre de tirage n à réaliser pour satisfaire la probabilité P est alors de 1765. Si la proportion d'échantillons aberrants est inférieure à 50%, ce que l'on suppose,
 20 un ensemble ne comportant pas d'échantillon aberrant fournit un modèle recalé en meilleure adéquation avec l'ensemble E , donc présentant un résidu carré médian plus faible, que n'importe quel autre ensemble comportant au moins un échantillon aberrant. On est alors quasiment assuré que l'homographie finalement obtenue
 25 est définie par un ensemble de huit paires non aberrant, ce qui garantit la robustesse de la méthode.

L'homographie H_{opt} obtenue par ce calcul de régression est maintenant utilisée pour identifier les paires aberrantes et on l'applique sur le modèle pour former un nouveau modèle ajusté
 30 optimal. Dans ce but, on calcule l'écart type $\hat{\sigma}$ de la valeur absolue des résidus correspondant à l'ensemble des paires de points sous l'hypothèse d'un bruit additif Gaussien, et on étiquette comme paire aberrante celles dont la valeur absolue du résidu excède K fois $\hat{\sigma}$. On peut avantageusement fixer la valeur de la variable K à

2,5. La méthode de calcul aux moindres carrés medians utilisée est une méthode classiquement connue.

L'homographie grossière H_g est finalement obtenue par un calcul de régression aux moindres carrés effectué sur l'ensemble des paires jugées non aberrantes. Il est à noter que le calcul de H_g peut être encore affiné en itérant le processus précédemment décrit, des nouvelles paires de points en correspondance étant obtenus en appliquant l'homographie H_g au modèle.

On peut expliciter le calcul de l'homographie grossière sous forme d'un algorithme avec :

- p_1 : correspondant dans l'image d'un point p du terrain théorique recalé par H_m (homographie moyenne)
- p_2 : point de contour le plus proche de p_1

1. Pour chaque point p appartenant au contour théorique :

- a. $p_1 = H_m(p)$
- b. si p est un point appartenant à une ligne verticale
 $p_2 = p_1 + G_v(p_1)$
- c. sinon $p_2 = p_1 + G_h(p_1)$

2. Calcul robuste de l'homographie à partir de l'ensemble des couples (p_1, p_2) trouvés :

- a. Effectuer n tirages aléatoires de 4 couples de points
- b. Pour chaque tirage :
 - i. Calculer linéairement l'homographie à partir des 4 couples
 - ii. Calculer l'erreur médiane
- a. Pour l'homographie ayant donné l'erreur médiane minimale
 - i. Conserver les couples non aberrants (celles dont la valeur absolue du résidu est inférieure à K fois $\hat{\sigma}$).
 - ii. Recalculer l'homographie grossière H_g à partir de tous ces couples

c) Le recalage fin

On a donc obtenu lors de la phase précédente une matrice d'homographie grossière H_g qui est proche de la solution finale. La

présente étape consiste à affiner les paramètres de cette homographie afin de produire une fonction d'homographie fine H_f telle que le modèle ajusté par elle soit le plus proche possible des lignes dans l'image. Pour cela, une méthode de minimisation d'une

5 fonction de plusieurs variables est mise en œuvre. Cette fonction se déduit du critère $D(I, H)$ préalablement défini et on recherche la matrice H_f solution de la minimisation suivante :

$$H_f = \min_{H_i \in H} \left(\int_T d_c(I, H_i, s) \cdot ds \right) \quad (1)$$

- 10 La fonction d_c se décompose en la somme de deux composantes, une verticale et une horizontale:

$$d_c(I, H, s) = I_v(s) \cdot d_v(I, H, s) + (1 - I_v(s)) \cdot d_h(I, H, s)$$

où $\begin{cases} I_v(s) = 1 \text{ si } s \text{ appartient à une ligne verticale} \\ 0 \text{ sinon} \end{cases}$

- 15 La fonction $d_v(I, p)$ (respectivement $d_h(I, p)$) représente la valeur absolue de la valeur au point p de la carte des distances verticales (respectivement horizontales) calculées à l'étape de recalage grossier.

- 20 L'intégrale contenue dans la formule (1) est échantillonnée à l'aide d'un algorithme de parcours de droite de Bresenham de façon à ne traiter que les coordonnées entières. Au final, la quantité à minimiser s'écrit sous la forme suivante :

$$H_f = \min_{H_i \in H} \left(\sum_{p \in B(T, H_i)} (I_v(p) \cdot d_v(I, p) + (1 - I_v(p)) \cdot d_h(I, p)) \right) \quad (2)$$

- 25 avec $B(T, H_i)$ représentant l'ensemble des pixels (à valeurs entières) appartenant au contour du terrain T recalé par l'homographie H_i .

- 30 En raison de la très forte non-linéarité de la fonction (2) à minimiser, un calcul direct n'est pas possible et on préfère utiliser une méthode itérative de minimisation d'une fonction à plusieurs variables qui sont ici les 8 paramètres de l'homographie H_f à

estimer. Plusieurs techniques sont possibles et notamment, des méthodes statistiques et des méthodes déterministes.

Les méthodes statistiques possèdent l'avantage de garantir la convergence vers le minimum global de la fonction à minimiser.

5 Le coût de calcul associé est toutefois prohibitif dans la plupart des applications. Parmi ces méthodes utilisables on peut citer le recuit simulé dont on pourra trouver, si nécessaire, une implémentation dans « Numerical Recipes in C », P412, The Art of Scientific Computing, Cambridge University Press 2001.

10 Les méthodes déterministes, bien que convergentes, ne garantissent pas l'obtention finale du minimum global de la fonction. Le minimum obtenu après convergence n'est qu'un minimum local qui est souvent assez proche de la valeur initiale avec laquelle l'algorithme est initialisé (soit les paramètres de H_0 dans notre cas). Cependant, grâce aux étapes précédentes ayant permis d'obtenir une matrice d'homographie H_0 qui est proche de la solution finale, ce type de méthode peut être appliquée avec profit.

On ne dispose pas, a priori, du gradient de la fonction à minimiser et les techniques exploitant cette information afin
20 d'assurer une convergence rapide d'un algorithme de méthode déterministe ne sont donc pas applicables. On utilise donc ici une méthode dite de Powell. Cette méthode est décrite en détail dans le livre « Numerical Recipes in C », P412, The Art of Scientific Computing, Cambridge University Press 2001 auquel on pourra
25 éventuellement se reporter. Elle repose sur un principe de minimisations mono-dimensionnelles alternées, la minimisation étant effectuée alternativement sur les 8 paramètres de l'homographie.

REVENDEICATIONS

1. Procédé de recalage automatique par des moyens électroniques d'un modèle géométrique d'une scène sur une image de la scène, le modèle et l'image de la scène étant stockés dans une mémoire d'un dispositif électronique sous forme de matrices de pixels, la scène comportant des repères fixes par rapport au reste de la scène, les repères pouvant être spécifiquement détectés au sein des matrices, l'image étant prise par une caméra disposée dans une zone donnée par rapport au terrain en un lieu de la zone et selon un angle de prise de vue déterminés par rapport à la scène, les moyens électroniques comparant l'image au modèle ayant subi un ajustement en perspective par une homographie à la recherche d'une superposition des repères, caractérisé en ce que le dispositif électronique calcule une fonction d'homographie fine H_f pour le recalage en trois phases principales :

- une première phase préalable de détermination d'une homographie de recalage moyen consistant à déterminer une fonction d'homographie moyenne H_m s'appliquant sur le modèle avec ajustement moyen sur un échantillon d'images préalablement réalisées de la scène,
- une deuxième phase de recalage grossier consistant après l'application de la fonction d'homographie moyenne H_m sur le modèle à déterminer une fonction d'homographie grossière H_g ,
- une troisième phase de recalage fin consistant après l'application de la fonction d'homographie grossière H_g sur le modèle à déterminer une fonction d'homographie fine H_f .

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que dans la phase préalable de détermination d'une homographie de recalage moyen, on sélectionne au moins une image échantillon parmi un ensemble d'images prises du lieu déterminé, on détecte les repères sur l'image/les images échantillons et on calcule une fonction homographique H_m moyenne permettant une superposition

entre le modèle soumis à la fonction homographique moyenne et l'image/les images échantillons, la superposition étant atteinte pour une minimisation aux moindres carrés de la distance entre des points repères de/des images échantillons et le modèle soumis à la fonction homographique moyenne.

3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que dans la deuxième phase de recalage grossier :

- dans une première étape on applique un traitement d'extraction à l'image permettant, selon des critères de détection, de détecter dans la matrice de l'image des pixels pouvant représenter des repères de la scène et de former une première matrice binaire M_{rh} de repère d'image comportant des points de contours horizontaux et une seconde matrice binaire M_{rv} de repère d'image comportant des points de contours verticaux,

- dans une deuxième étape on calcule pour chaque matrice binaire repère horizontale M_{rh} , respectivement verticale M_{rv} , une matrice de distance repère horizontale M_{dh} , respectivement verticale M_{dv} , comportant pour chaque élément de la matrice la valeur de distance par rapport au repère le plus proche selon la verticale, respectivement l'horizontale,

pour la matrice de distance repère horizontale M_{dh} chaque élément de ladite matrice indiquant la distance en nombre de pixels par rapport à la ligne repère le long d'un axe vertical, les valeurs distance sur la ligne repère et ceux d'une colonne sans pixel de ligne repère étant nuls, les valeurs distance le long de la verticale augmentant en valeur absolue au fur et à mesure de l'éloignement de l'élément par rapport à la ligne repère, les valeurs distance des éléments étant de signes opposés de part et d'autre de la ligne repère,

pour la matrice de distance repère verticale M_{dv} chaque élément de ladite matrice indiquant la distance en nombre de pixels par rapport à la ligne repère le long d'un axe horizontal, les valeurs distance sur la ligne repère et ceux d'une ligne sans pixel de ligne repère étant nuls, les valeurs distance le long de l'horizontale

augmentant en valeur absolue au fur et à mesure de l'éloignement de l'élément par rapport à la ligne repère, des éléments étant de signes opposés de part et d'autre de la ligne repère,

- dans une troisième étape on applique sur l'ensemble des lignes repères du modèle la fonction homographique H_m moyenne afin de produire une matrice ajustée moyenne binaire M_{am} qui est comparée aux matrices de distance repère verticale M_{dv} , respectivement horizontale M_{dh} , afin de créer des appariements de pixels,

avec pour chaque pixel $p(i,j)$ de la matrice ajustée moyenne provenant du recalage d'un pixel du modèle appartenant à une ligne repère verticale et positionné à la ligne i et à la colonne j de la matrice ajustée moyenne M_{am} , l'affectation d'un pixel correspondant obtenu en additionnant la valeur v en i et j de la matrice repère verticale M_{rv} à la valeur j , et créant l'appariement de pixels $((i,j), (i,j+v))$,

avec pour chaque pixel $p(i,j)$ de la matrice ajustée moyenne provenant du recalage d'un pixel du modèle appartenant à une ligne repère horizontale et positionné à la ligne i et à la colonne j de la matrice ajustée moyenne M_{am} , l'affectation d'un pixel correspondant obtenu en additionnant la valeur v en i et j de la matrice repère horizontale M_{rh} à la valeur i , et créant l'appariement de pixels $((i,j), (i+v,j))$,

une fonction d'homographie H_{opt} est alors calculée par régression avec minimisation de la médiane du carré de la distance entre paires de pixels appariés, le calcul étant effectué sur n ensembles de quatre paires de pixels appariés,

- dans une quatrième étape on identifie les paires de pixels correspondant à des appariements non aberrants,

- dans une cinquième étape on ajuste H_{opt} par un calcul de régression aux moindres carrés sur l'ensemble des paires de pixels non aberrantes afin de produire l'homographie grossière H_g .

4. Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que, d'une part, dans la matrice ajustée moyenne binaire M_{am} , les pixels

prennent la valeur 1 s'ils correspondent à un pixel repère du modèle recalé et 0 sinon, et, d'autre part, dans la quatrième étape de la deuxième phase de recalage grossier, une paire de pixels correspond à un appariement non aberrant, si, pour le pixel de la

5 matrice ajustée moyenne M_{am} de l'appariement considéré, la distance entre le pixel apparié par utilisation des matrices repères M_{rh} , M_{rv} , et celui obtenu par l'homographie H_{opt} est inférieur ou égal à un seuil prédéterminé.

5. Procédé selon la revendication 3 ou 4, caractérisé en ce

10 que les critères de détection de repères sont choisis isolément ou en combinaison parmi :

- une couleur spécifique du repère par rapport au reste de la scène,
- une teinte spécifique du repère par rapport au reste de la scène,
- 15 - un niveau de gris spécifique du repère par rapport au reste de la scène,
- une forme spécifique du repère, notamment une ligne, un angle entre deux lignes se croisant, un parallélisme entre deux lignes,
- une orientation spécifique du repère,
- 20 - une ligne la plus proche et parallèle d'un bord de la matrice de l'image.

6. Procédé selon la revendication 3, 4 ou 5, caractérisé en ce que le traitement d'extraction comporte une étape préalable de filtrage de Canny-Deriche de l'image afin d'obtenir une image de

25 gradients et que le traitement se poursuit avec l'image de gradients.

7. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que dans la troisième phase de recalage fin, on applique l'homographie grossière H_g sur le modèle

30 et on compare le résultat aux deux matrices de distance horizontale et verticale avec ajustement de l'homographie par une méthode de minimisation itérative mono dimensionnelle alternée dite de Powell.

8. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que les images évoluent au cours du temps selon des séquences correspondant à des lieux et/ou angles de prise de vue différents et en ce que le dispositif électronique comporte de moyens permettant en outre de déterminer au cours de la première phase préalable de recalage moyen autant de fonctions d'homographie moyennes H_m qu'il y a de lieux et angles de prise de vue différents.

9. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'on met en œuvre les phases et étapes dans les moyens électroniques qui sont en logique programmable avec un programme et que la logique programmable comporte un microprocesseur ou processeur de signaux numériques (DSP) et, de préférence, du type micro-ordinateur généraliste ou dédié.

10. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que la scène est un terrain de sport comportant des repères sous forme de lignes de délimitation, notamment un terrain « football » européen ou américain ou de tennis.

11. Dispositif de recalage automatique par des moyens électroniques d'un modèle géométrique d'une scène sur une image de la scène, le modèle et l'image de la scène étant stockés dans une mémoire d'un dispositif électronique sous forme de matrices de pixels, la scène comportant des repères fixes par rapport au reste de la scène, les repères pouvant être spécifiquement détectés au sein des matrices, l'image étant prise par une caméra disposée dans une zone donnée par rapport au terrain en un lieu de la zone et selon un angle de prise de vue déterminés par rapport à la scène, les moyens électroniques comparant l'image au modèle ayant subi un ajustement en perspective par une homographie à la recherche d'une superposition des repères,

caractérisé en ce qu'il comporte des moyens permettant de calculer une fonction d'homographie fine H_f pour le recalage en trois phases principales :

- une première phase préalable de détermination d'une homographie de recalage moyen consistant à déterminer une fonction d'homographie moyenne H_m s'appliquant sur le modèle avec ajustement moyen sur un échantillon d'images préalablement réalisées de la scène,
- une deuxième phase de recalage grossier consistant après l'application de la fonction d'homographie moyenne H_m sur le modèle à déterminer une fonction d'homographie grossière H_g ,
- une troisième phase de recalage fin consistant après l'application de la fonction d'homographie grossière H_g sur le modèle à déterminer une fonction d'homographie fine H_f .

12. Dispositif selon la revendications 11, caractérisé en ce que les moyens électroniques sont du type micro-ordinateur généraliste ou dédié.

13. Support informatique comportant un programme destiné au fonctionnement du dispositif de la revendication 11.

14. Support informatique comportant un programme destiné au fonctionnement du dispositif de la revendication 11 et au moins selon la méthode de revendications 1 parmi les revendications 1 à 10.

caractérisé en ce qu'il comporte des moyens permettant de calculer une fonction d'homographie fine H_f pour le recalage en trois phases principales :

- une première phase préalable de détermination d'une homographie de recalage moyen consistant à déterminer une fonction d'homographie moyenne H_m s'appliquant sur le modèle avec ajustement moyen sur un échantillon d'images préalablement réalisées de la scène,
 - une deuxième phase de recalage grossier consistant après l'application de la fonction d'homographie moyenne H_m sur le modèle à déterminer une fonction d'homographie grossière H_g ,
 - une troisième phase de recalage fin consistant après l'application de la fonction d'homographie grossière H_g sur le modèle à déterminer une fonction d'homographie fine H_f .
12. Dispositif selon la revendications 11, caractérisé en ce que les moyens électroniques sont du type micro-ordinateur généraliste ou dédié.
13. Support informatique comportant un programme destiné au fonctionnement du dispositif de la revendication 11.
14. Support informatique comportant un programme destiné au fonctionnement du dispositif de la revendication 11 et au moins selon le procédé de la revendication 1 parmi les revendications de procédé 1 à 10.

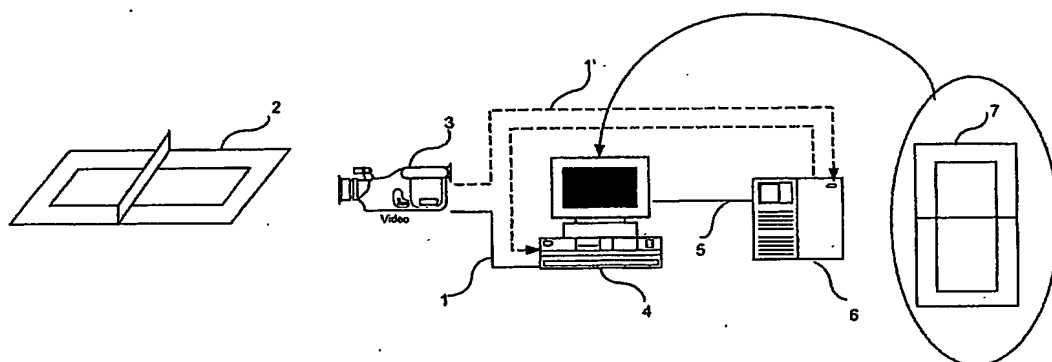
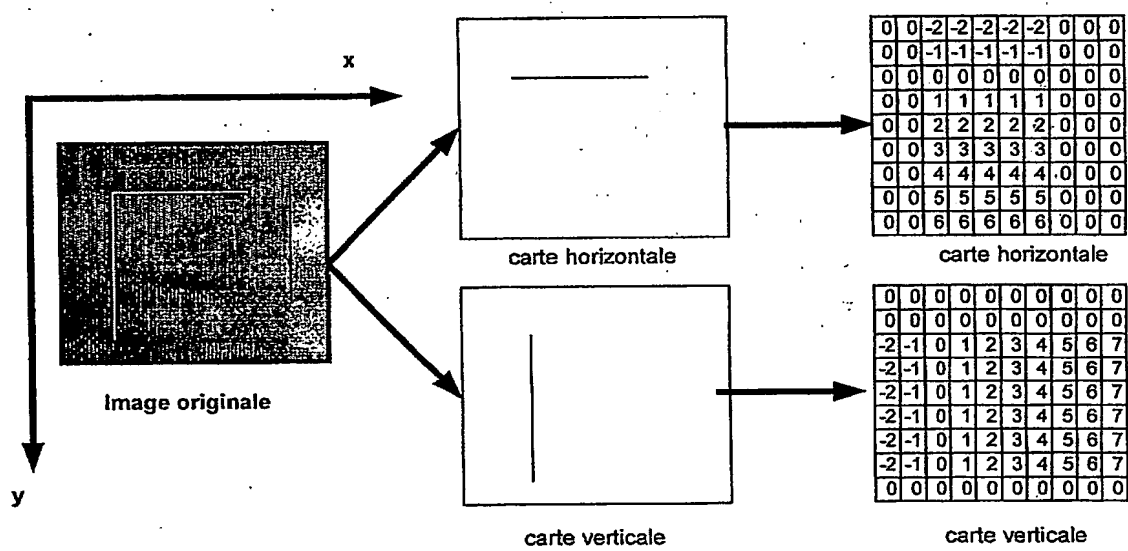


Fig 1



Cartes binaires (gradient + couleur)

Cartes de distances algébriques

Fig.2



BREVET D'INVENTION CERTIFICAT D'UTILITE

Désignation de l'inventeur

Vos références pour ce dossier	Q080FR
N°D'ENREGISTREMENT NATIONAL	0350279
TITRE DE L'INVENTION	
	PROCEDE DE RECALAGE AUTOMATIQUE D'UN MODELE GEOMETRIQUE D'UNE SCENE SUR UNE IMAGE DE LA SCENE, DISPOSITIF DE MISE EN OEUVRE ET SUPPORT DE PROGRAMMATION.
LE(S) DEMANDEUR(S) OU LE(S) MANDATAIRE(S):	
DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S):	
Inventeur 1	
Nom	OISEL
Prénoms	Lionel
Rue	46, Quai Alphonse Le Gallo
Code postal et ville	92648 BOULOGNE-BILLANCOURT CEDEX
Société d'appartenance	
Inventeur 2	
Nom	KIJAK
Prénoms	Ewa
Rue	46, Quai Alphonse Le Gallo
Code postal et ville	92648 BOULOGNE-BILLANCOURT CEDEX
Société d'appartenance	
Inventeur 3	
Nom	LE CLERC
Prénoms	François
Rue	46, Quai Alphonse Le Gallo
Code postal et ville	92648 BOULOGNE-BILLANCOURT CEDEX
Société d'appartenance	

La loi n°78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique aux fichiers et aux libertés s'applique aux réponses faites à ce formulaire. Elle garantit un droit d'accès et de rectification pour les données vous concernant auprès de l'INPI.